

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Батигін Юрій Вікторович (Батыгин Юрий Викторович, Batygin Yuriy Victorovich)** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри фізики, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>; e-mail: [yu.v.batygin@gmail.com](mailto:yu.v.batygin@gmail.com).

**Бондаренко Олександр Юрійович (Бондаренко Александр Юрьевич, Bondarenko Oleksandr Yuriyovich)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; доцент кафедри інженерної електрофізики, тел.: (057)7076245; e-mail: [abondarenko51@gmail.com](mailto:abondarenko51@gmail.com).

**Шиндерук Світлана Олександрівна (Шиндерук Светлана Александровна, Shinderuk Svitlana Olexandrivna)** – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри фізики, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>; e-mail: [s.shinderuk.2016102@ukr.net](mailto:s.shinderuk.2016102@ukr.net).

**Серіков Георгій Сергійович (Сериков Георгий Сергеевич, George Sergeevich Serikov)** – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри автомобільної електроніки, м. Харків; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9578-1211>; e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com).

УДК 621.396.96.019.3: 621.391.827(24)

**В.В. КНЯЗЕВ, В.И. КРАВЧЕНКО**

### СИСТЕМА НАТО ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ТРЕБОВАНИЯМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Обеспечение электромагнитной совместимости объектов вооружения и военной техники, содержащих в своей основе радио-, электронное и электротехническое оборудование, является обязательным требованием. Важно правильно определить каким стандартам необходимо обеспечить соответствие. В связи со стремлением Украины в НАТО эта задача актуализировалась и конкретизировалась. В 2017 году методом подтверждения приняты национальные нормативные документы, идентичные нормативными документами НАТО, вступившие в силу с 1 февраля 2018. В том числе два стандарта в области электромагнитной совместимости. На основе этих стандартов требуется разработать национальную систему оценки соответствия объектов вооружения и военной техники. Оценка соответствия требованиям стандартов НАТО значительно повысит конкурентную способность образцов национальных производителей на мировом рынке. Проведен анализ системы оценки соответствия, который регламентируется НАТО, с целью имплементации его в Украине. Проведен анализ основных положений этих стандартов и выявлены основанные логические связи стандартов АЕСТР 500 и АЕСТР 250. Приведена классификация вооружений и военной техники, используемая в стандартах НАТО. Рассмотрены номенклатура электромагнитных факторов окружающей среды и методы испытаний для оценки уровней соответствия требованиям электромагнитной совместимости этих объектов.

**Ключевые слова:** стандарты НАТО, объекты вооружения и военной техники, классы оружия, электромагнитная совместимость, испытания, электромагнитные факторы окружающей среды.

**В.В. КНЯЗЬОВ, В.І. КРАВЧЕНКО**

### СИСТЕМА НАТО ЩОДО ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ВИМОГАМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ

Забезпечення електромагнітної сумісності об'єктів озброєння і військової техніки, що містять у своїй основі радіо-, електронні та електротехнічне обладнання, є обов'язковою вимогою. Важливо правильно визначити яким стандартам необхідно забезпечити відповідність. У зв'язку з прагненням України до НАТО це завдання актуалізувалось та визначилось. У 2017 році методом підтвердження прийняті національні нормативні документи, ідентичні нормативними документами НАТО, набули чинності з 1 лютого 2018. У тому числі два стандарти в галузі електромагнітної сумісності. На основі цих стандартів потрібно розробити національну систему оцінки відповідності об'єктів озброєння і військової техніки. Оцінка відповідності вимогам стандартів НАТО значно підвищить конкурентну здатність зразків національних виробників на світовому ринку. Проведено аналіз системи оцінки відповідності, який регламентується НАТО, з метою імплементації його в Україні. Проведено аналіз основних положень цих стандартів і виявлені засновані логічні зв'язки стандартів АЕСТР 500 і АЕСТР 250. Наведено класифікацію озброєнь і військової техніки, яка використовується в стандартах НАТО. Розглянуто номенклатуру електромагнітних факторів навколишнього середовища і методи випробувань для оцінки рівнів відповідності вимогам електромагнітної сумісності цих об'єктів.

**Ключові слова:** стандарти НАТО, об'єкти озброєння і військової техніки, класи зброї, електромагнітна сумісність, випробування, електромагнітні фактори навколишнього середовища.

V.V. KNAZIEV, V.I. KRAVCHENKO

## NATO SYSTEM TO ENSURE THE COMPLIANCE OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT WITH THE REQUIREMENTS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

Ensuring the electromagnetic compatibility of weapons and military equipment containing radio, electronic and electrical equipment is a mandatory requirement. It is important to correctly determine which standards need to be consistent. Due to Ukraine's aspirations for NATO, this task was updated and determined. In 2017, the method of confirmation adopted national regulations identical to the NATO regulations, entered into force on February 1, 2018. It including two standards in the field of electromagnetic compatibility. On the basis of these standards, it is necessary to develop a national system for assessing the conformity of weapons and military equipment. Assessing compliance with NATO standards will greatly increase the competitive ability of samples from national producers on the world market. The analysis of conformity assessment system, which is regulated by NATO, is carried out in order to implement it in Ukraine. The analysis of the basic provisions of these standards was carried out and found the logical linkages of the AECTP 500 and AECTP 250 standards. The classification of armaments and military equipment used in NATO standards is presented. The nomenclature of electromagnetic environmental factors and test methods for assessing the levels of compliance with the requirements of electromagnetic compatibility of these objects are considered.

**Keywords:** NATO standards, weapons and military equipment, weapons classes, electromagnetic compatibility, testing, electromagnetic factors of the environment.

**Введение.** Принципиально важное значение для реализации Концепции Государственной целевой программы реформирования и развития оборонно-промышленного комплекса Украины на период до 2020 года, которая одобрена Распоряжением КМУ №19-р от 20.01.2016 г., имеет внедрение в Украине стандартов НАТО, в частности по электромагнитной совместимости (ЭМС). Эти стандарты регламентируют требования по параметрам ЭМС к объектам вооружения и военной техники (ОВВТ) и их составных частей с учетом родов войск и назначения. Обеспечение необходимого уровня невосприимчивости образцов ОВВТ к действию мощных электромагнитных помех обуславливает повышение обороноспособности Украины и будет способствовать продвижению продукции национальных производителей на международные рынки.

Приказом Национального органа стандартизации от 26.12.2017 года №471 «О принятии национальных нормативных документов, гармонизированных с нормативными документами НАТО» установлено следующее:

Принять национальные нормативные документы, гармонизированные с нормативными документами НАТО, методом подтверждения как пробные со вступлением в силу с 1 февраля 2018 до 1 февраля 2021. В том числе два стандарта в области ЭМС:

1. ДСТУ-П STANAG 4370 AECTP-500 Ed. E: 2017 [1].

2. ДСТУ-П STANAG 4370 AECTP-250 Ed. C: 2017 [2].

Следует отметить, что требования указанных стандартов НАТО в значительной степени совпадают с требованиями аналогичных военных стандартов США [3, 4]. Таким образом, реализация испытаний по стандартам НАТО, фактически обеспечит возможность оценки соответствия ОВВТ также требованиям военных стандартов США, которые являются наиболее распространенными в мире.

**Анализ состояния вопроса.** Система НАТО по оценке соответствия уровня устойчивости ОВВТ к действию факторов окружающей среды базируется на

комплексе стандартов STANAG 4370, который включает требования по ЭМС объектов, содержащих в своей основе радио-, электронное и электротехническое оборудование, изложенные в стандартах AECTP 500 [1] и AECTP 250 [2].

AECTP 500 регламентирует виды испытаний, уровни испытательных воздействий и методики проведения испытаний для подсистем и оборудования ОВВТ. AECTP 500 устанавливает требования к интерфейсам и критериям обеспечения ЭМС ОВВТ воздушных, морских, космических и наземных видов вооружения, включая боеприпасы.

AECTP 250 регламентирует воздействия электромагнитных факторов окружающей среды на платформу ОВВТ. Данный стандарт устанавливает обязательную номенклатуру источников электрических и электромагнитных воздействий и определяет характеристики этих воздействий, влияющих на качество функционирования ОВВТ в процессе их эксплуатации. Характеристики и данные, содержащиеся в стандарте AECTP 250, предназначены для использования в следующих аспектах:

а) регламентация поставщикам идентифицированного перечня электрических и электромагнитных сред для включения в требования ЭМС при спецификации поставок в войска;

б) задание для поставщиков «стандартных» условий, определенных в требованиях ЭМС на ОВВТ и их применимости к соответствующему операционному сценарию их эксплуатации;

с) помощь инженерам-проектировщикам в составлении электрического / экологического дизайна критериев путем определения всех основных сред эксплуатации ОВВТ, а также иллюстрации и количественной оценки характеристик и параметров, которые влияют на их величину.

Стандарты [1] и [2] являются взаимно дополняющими и предполагают их совместное использование при разработке ОВВТ и приемке, что способствует всеобъемлющему и экономически эффективному выбору видов испытаний на соответствие требованиям ЭМС.

### Общие требования к ОБВТ в области ЭМС.

ОБВТ, их системы, подсистемы и оборудование должны отвечать требованиям ЭМС между всеми подсистемами и оборудованием в пределах самой системы и окружающей электромагнитной среды, формируемой внешними электромагнитными источниками, с целью обеспечения их безопасности, правильности эксплуатации и качественного функционирования. Методы обеспечения требований ЭМС радио- и электротехнического оборудования ОБВТ должны поддаться контролю, проверке на ремонтпригодность и быть эффективными. Контроль должен учитывать все аспекты жизненного цикла системы, включая ее консервацию, упаковку, хранение, погрузку, транспортировку, разгрузку, контроль, запуск, нормальную работу в процессе эксплуатации, и обычные рабочие процедуры, связанные с каждым из перечисленных аспектов.

**Система обеспечения требований ЭМС ОБВТ регламентированная стандартами НАТО.** Обобщенная структурная схема обеспечения требований ЭМС ОБВТ регламентированных стандартами НАТО приведена на рис. 1.

**Классы ОБВТ.** Классы объектов определяются исходя из назначения, состава оборудования и подсистем установленных, или запускаемых с платформ базирования - наземных, морских, подводных, воздушных и космических.

В АЕСТР 500 [1, 508/4 раздел 2.1] ОБВТ разделены на 6 классов:

*Класс оружия А.* Боеприпасы, транспортируемые на самолете и связанные с ними системы, которые базируются на самолете, но не самолет.

*Класс оружия В.* Сухопутные боеприпасы, включая их пусковые и управляющие комплексы.

*Класс оружия С.* Боеприпасы морского базирования и их пусковые платформы, исключая плавсредства, на которых размещены их пусковые установки.



Рис. 1. Обобщенная структурная схема обеспечения требований ЭМС ОБВТ, регламентированных стандартами НАТО

*Класс оружия D1.* Наземные пусковые управля-

емые ракеты и их управляющие системы.

*Класс оружия D2.* Воздушные пусковые управляемые ракеты и связанные с ними системы, исключая самолет-носитель.

*Класс оружия Е.* Не сертифицированные против прямого воздействия боеприпасы, которые должны сохранять работоспособность при не прямых воздействиях. Примерами оружия класса Е являются переносные ракетные комплексы и небольшие боеприпасы.

Формально, эта классификация, используется при оценке соответствия уровня устойчивости ОБВТ к действию эффектов, вызванных молниями. Для рассматриваемых классов оружия наиболее опасными элементами, которые чувствительны к действию эффектов молнии, являются электрические взрыватели.

**Электромагнитные факторы окружающей среды.** Номенклатура электромагнитных факторов окружающей среды, регламентирована в АЕСТР 250 [2] и содержат следующие виды сред:

а. *Окружающая среда радиочастоты* (Раздел 252). Данный раздел определяет вероятностные характеристики окружающей среды электромагнитного фона в местах приема радиосвязи для типичных сельских и городских районов.

б. *Среда электростатических явлений* (электризация, заряды и разряды) (Раздел 253). В этом разделе описываются электростатические явления и наихудшие варианты электростатических заряда / разряда, которые могут возникать на персонале и летательных аппаратах в полете, а также определены уровни, на которые должны быть испытаны воздушные суда.

с. *Атмосферное электричество и молния* (Раздел 254). Этот раздел описывает характер ударов молнии и статистические уровни параметров, которые соответствуют естественной молнии, а также электромагнитные факторы внешней среды для испытания на воздействие молнии. Одновременно эти параметры определяются вместе с типичным индуцированным током в кабелях систем, поражаемых молнией. Также определены уровни напряженностей электрических и магнитных полей для близких и дальних разрядов молнии.

д. *Постоянный ток и магнитное поле низкой частоты* (Раздел 255). Этот раздел определяет параметры магнитного поля постоянного тока, встречающегося в оперативной среде эксплуатации судна и поля низкой частоты, встречающиеся во всех трех средах его эксплуатации.

е. *Электромагнитный импульс ядерного взрыва* (Раздел 256). Этот раздел описывает феноменологию происхождения электромагнитного импульса ядерного взрыва (ЭМИ ЯВ), его основные характеристики и методы, с помощью которых он воздействует на ОБВТ и их системы и подсистемы. Также описывается сложный характер формирования ЭМИ ЯВ в аспектах его происхождения, высоты подрыва ядерного заряда, его влияние на оборудование в зависимости от места детонации заряда, мощности заряда, формы генерируемой волны.

ф. *Микроволновое излучение высокой мощности* (Раздел 257). В этом разделе описывается типы источников микроволнового излучения большой мощности и общая преднамеренная электромагнитная обстановка и / или ущерб, который она может нанести электронным системам ОБВТ.

г. *Высокочастотная электромагнитная среда* (Раздел 258). В этом разделе представлены высокочастотные электромагнитные источники связи и радиолокационные передающие системы, действие которых определены НАТО и распространяются на наземные, воздушные и космические среды для условий наихудшей эксплуатации.

h. *Внутрисистемная электромагнитная среда. (Качество электропитания).* (Раздел 259). Этот раздел описывает среды, связанные функционированием ОБВТ, питаемых переменным или постоянным током при их базировании на платформах, имеющих средства коммуникации или вторичные электронные средства питания.

**Испытания и оценка уровней требований ЭМС ОБВТ.** Испытания ОБВТ по параметрам ЭМС являются критерием определения соответствия этих объектов категориям и требованиям к испытаниям, регламентируемым нормативными документами НАТО. При поставке, проектировании и испытаниях ОБВТ, а также их систем, необходимо определять какие категории и какие виды проверок и испытаний применимы для каждой из этих категорий. Все перечисленные методы не должны применяться без разбора, а скорее должны быть выбраны по условиям необходимости. При разработке программы испытаний необходимо уделять внимание наихудшим из ожидаемых циклов эксплуатации ОБВТ. При этом, совокупный ущерб, причиненный долгосрочной эксплуатацией ОБВТ в различных электромагнитных средах и связанных с ними изменяющихся электромагнитных эффектах должны быть приняты во внимание. Интерфейсы с соответствующими платформами также должны учитываться для обеспечения ЭМС по АЕСТР-500 [1].

Приведенные далее процедуры обеспечивают оптимальную проверку функционирования изделия и его стойкости к воздействиям внешних электромагнитных сред. Испытания, особенно на уровне оборудования, не обязательно предназначены для дублирования воздействия факторов окружающей среды. В стандарте АЕСТР-500 [1] содержится информация по следующим темам процедуры испытаний:

- a. Разработка программы испытаний.
- b. Применимость каждого вида испытаний.
- c. Методика проведения испытаний.
- d. ВВФ ЭМП для испытаний.
- e. Характеристики испытательных помещений.
- f. Конфигурация испытуемого элемента.
- g. Условия испытаний.
- h. Результаты испытаний, включая планы и отчеты.
- k. Критерии отказа.

#### Дополнительные требования к программе ис-

**пытаний.** *Внешняя радиочастотная (РЧ) электромагнитная обстановка (ЭМО).* ОБВТ должны быть электромагнитно совместимы с определенной внешней РЧ ЭМО, вытекающие из их эксплуатационных требований. АЕСТР 250 [2] обеспечивает определение факторов окружающих сред. ОБВТ, подверженные воздействию нескольких определенных ВВФ ЭМП использует наихудший вариант их воздействия. Данное условие должно быть проверено и тестировано на уровне системы, подсистемы оборудования, или их комбинации.

*Испытания и проверка оборудования в целом.* Тестирование и проверка всей системы могут быть применимы к очень крупным системам, которые могут быть испытаны только на месте. Эти требования описывают категории 505, 506, 507 и 508 АЕСТР 500 [1].

*Категории 501-503 АЕСТР 500 [1].* содержат общие процедуры испытаний, которые могут применяться к любым типам ОБВТ на уровне оборудования / подсистемы. Процедуры испытаний для конкретной программы выбираются на основе принципов использования ОБВТ и его эксплуатации в течение всего жизненного цикла.

*Цели программы испытаний.* Основная цель программы испытаний состоит в том, чтобы продемонстрировать, что материальная часть ОБВТ:

- a. Существенно не влияет, не нарушает или не наносит ущерба другим средствам, при их эксплуатации по назначению.
- b. Существенно не влияет, не нарушает или не наносит ущерба его собственным компонентам или оборудованию при их работе по назначению.
- c. Существенно не влияет или не подвергает неблагоприятным воздействиям, при эксплуатации во внешних электромагнитных средах, независимо от того, генерируются ли они другими объектами, людьми или природными явлениями.
- d. Не будет существенно подвергаться опасности персонал на этапах цикла функционирования ОБВТ, в результате генерирования собственных электрических или электромагнитных помехи, и неблагоприятных последствий влияния внешних электромагнитных воздействий.

**Процедура управления и планирования обеспечения требований ЭМС.** План программы испытаний ОБВТ по обеспечению требований ЭМС для объекта в целом, включая все компоненты и подсистемы должен быть достаточно подробный, чтобы можно было повторить любой вид испытаний с теми же результатами. План должен охватывать как разработку, так и приемо-сдаточные испытания вплоть до системного тестирования.

План программы ЭМС должен определять:

- a. Структуру управления исполнителем в зависимости от ситуации.
- b. Оборудование, подсистема, система или платформа, которые будут протестированы и график их испытаний.
- c. Характер или цель каждого вида испытаний.

d. Режим (ы) работы тестируемого оборудования.  
e. Модуляция сигнала, применяемая при тестировании на восприимчивость, по мере необходимости.

f. Функциональные испытания и проверки, которые должны выполняться до, во время и после каждой тестовой / пробной процедуры обеспечения требований ЭМС.

g. Используемый объект (если требуется) и вспомогательное оборудование, необходимое для испытаний. Методы записи данных, включая описание конфигурации тестирования / фотографии, анализ и отчетность.

**Специфические случаи обеспечения требований ЭМС.** Наиболее реалистичным подходом к тестированию материальных средств при моделируемых электромагнитных факторах было бы выставить тестовый элемент в развернутом и функциональном состоянии, в тех условиях, в которых он будет эксплуатироваться (т. е. использование подхода, изложенного в Категориях 505, 506 или 507). Операционная среда эксплуатации объекта определена в АЕСТР-250. Некоторые наземные материальные средства могут быть испытаны с использованием такого подхода.

Воздушные и корабельные системы сложнее развертывать в реальных условиях, поскольку для их испытаний в основном используются наземные испытательные установки. К этим видам относятся пункты испытаний объекта в свободном пространстве - самолет в полете либо находящийся на корабельной палубе или с использованием проводящей заземляющей плоскости, на которой стоит испытываемый объект. Еще труднее проводить испытания типов объектов, которые образуют взаимосвязанные части обширной разветвленной системы или представляют собой объекты, размещенные на или внутри зданий или больших мобильных платформ. Тестирование в естественных окружающих средах (например, испытательные площадки под открытым небом) может быть невозможным для всех этих видов объектов.

ЭМС тестирование подсистем (категория 501, 502 или 503) должно быть выполнено до проведения комплексного тестирования систем (категории 505, 506, 507 или 508). Тестирование интегрированных систем может выявить недостатки, не обнаруженные во время тестирования подсистем.

**Оценка уровней соответствия требованиям ЭМС.** Невыполнение одного из нижеперечисленных условий представляет собой несоответствие объекта требованиям ЭМС:

a. Отклонение контролируемого выходного параметра выше уровней требований, установленных в спецификации ЭМС для материальных средств или для ее платформы, систем, подсистем или оборудования, которые составляют их средства.

b. Возникновение переходных явлений или повреждений, которые могут привести к угрозам безопасности, связанной с эксплуатацией ОВБТ.

c. Возникновение переходных явлений или повреждений, которые могут привести к угрозам невы-

полнения запрограммированных задач объекта на определенном этапе его жизненного цикла.

Чтобы инженер-испытатель, при проведении тестирования ОВБТ, мог определить порог их устойчивости (критерий качества функционирования), в методике испытаний должны быть указаны, согласованные в письменной форме, следующие положения.

a. Критерии восприимчивости или допуски на отклонение применяемых характеристик должны быть утверждены Заказчиком применительно к тестовой программе

b. Максимально возможно должны использоваться критерии измеряемых параметров восприимчивости визуальным контролем или проверками в режиме реального времени или пост-тест.

c. Критерии восприимчивости должны быть разработаны для каждого режима работы. Любая потеря этой функции во время тестирования должна быть записана в отчете об испытаниях.

d. Потеря качества функционирования допускается во время каждого теста, если оно может быть восстановлено в ручном режиме органами управления в конце испытания и при этом отсутствуют необратимые отказы. Допустимая потеря качества функционирования должна быть указана в процедуре обеспечения требований ЭМС. Любая такая потеря во время испытаний должна быть записана в отчете. Если пороговый уровень отличается между повышением и понижением сигнала помехи, должен быть записан верхний и нижний пороговые значения (эффект гистерезиса).

Когда вспомогательное контрольное оборудование используется для мониторинга, например, осциллографы или цифровые вольтметры, необходимо предпринять меры для исключения влияния помехи на контролируемый сигнал. Там, где это возможно, должны использоваться оптоволоконные линии передачи информации. Метод, используемый для правильного мониторинга выхода из строя ОВБТ, должен быть подробно описан в отчете по испытаниям. После проведения теста на воздействие кондуктивных помех необходимо проверить, состояние фильтров или других защитных компонентов, которые могут повлиять на результаты других видов испытаний.

Повторное тестирование должно производиться в том случае, если:

a. Ранее испытываемый объект или его оборудование были отремонтированы или переработаны по результатам предыдущего тест-отказа. В этих случаях, когда такие условия могут быть гарантированы, допускается повторная проверка только по тем частям программы испытаний, где произошли сбои.

b. Процедура испытания не выполняется правильно или объект испытания был неправильно настроен. Это включает в себя, вариант, когда испытываемое изделие работает по-разному, что ранее было согласовано с Заказчиком или в тех случаях, когда это соответствует нормальным условиям работы установки. В таких условиях все испытания будут повторяться в правильной конфигурации.

Рассмотрим подробнее раздел 254 стандарта [2]

«Атмосферное электричество и молния».

Стандарт [2] (подраздел 5.3.4) устанавливает, что молниезащита должна проверяться путем анализа во время подтверждения соответствия оборудования, поскольку испытание на уровне системы, в силу больших рисков и стоимости испытаний, не проводится. Следовательно, экспериментальные исследования устойчивости элементов ОБВТ есть основной этап фактического подтверждения уровня устойчивости ОБВТ к дестабилизирующему действию молнии. При этом остается вопрос достаточности полученных экспериментальных результатов для оценки уровня устойчивости комплекса в целом. Обосновать итоговый уровень устойчивости ОБВТ можно только с использованием предварительных расчетных оценок. Сложившаяся система задания требований по стойкости ОБВТ к действию поражающих факторов грозových разрядов включает в себя наличие нескольких взаимосвязанных уровней задания и конкретизации (уточнения) требований и соответствующих этим уровням задающих документов, которыми руководствуются разработчики ОБВТ и его элементов.

В процессе создания ОБВТ информация о характеристиках грозового воздействия, необходимая для принятия проектных решений (Таблица 1), может

корректироваться и уточняться по мере детализации технического облика объектов проектирования и особенностей их функционирования. Как следствие этого, в описании требований к характеристикам молниестойкости объектов проектирования имеются иерархические уровни. Иначе говоря, реализуется нисходящая схема задания требований по молниестойкости. Указанная схема носит эвристический характер и отражает накопленный опыт в области создания ОБВТ. В соответствии с этой схемой происходит детализация характеристик поражающих факторов молнии, воздействующих на объект и на отдельные его элементы, по мере проработки их технического облика.

Сложным аспектом реализации испытаний является процесс определения требований к тем или иным элементам ОБВТ, путем выбора из многочисленных стандартов, например, [1-12], которые потенциально могут быть применены, особенно, когда требования в разных стандартах отличаются. Потребность в проведении экспертной оценки возникает, также, в случае, когда расчетные значения параметров дестабилизирующего фактора превышают соответствующие значения этого фактора, регламентируемые стандартами.

Таблица 1 – Методы испытаний, регламентируемые АЕСТР-500 [1, табл.504/4–1]

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТОВ	МЕТОД ИСПЫТАНИЯ	
	ВИД ИСПЫТАНИЙ	ССЫЛКИ [1]
ПРЯМЫЕ ЭФФЕКТЫ	Прожиг металла корпуса	Таблица 508/4-С1
	Формирование точки прожига	Таблица 508/4-С2
	Смещение канала по поверхности	Таблица 508/4-С3
	Поверхностное повреждение слоистой непроводящей панели корпуса	Таблица 508/4-С4
	Поверхностное повреждение металлизированной слоистой панели корпуса	Таблица 508/4-С5
	Поверхностное повреждение сотовой непроводящей панели корпуса	Таблица 508/4-С6
	Омический нагрев	Таблица 508/4-С7
	Магнитные силы	Таблица 508/4-С8
	Акустическая ударная волна	Таблица 508/4-С9
НЕПРЯМЫЕ ЭФФЕКТЫ НА ОБЪЕКТ В ЦЕЛОМ	Импульсные испытания	Приложение В, пункт В.7.5 <sup>1)</sup> Уровни в Ref. [1] Приложение В
НЕПРЯМЫЕ ЭФФЕКТЫ НА СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ОБЪЕКТА	Измерения индуцированных напряжений	Приложение В Пункт В.8.9 *
	Испытания на целостность изоляции	Приложение В Пункт В.8.10 *
НЕПРЯМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБОРУДОВАНИЕ ОБЪЕКТА	Импульсные испытания	Приложение В Пункт В.3.
	Инжекция синусоидальных затухающих помех	Приложение G Пункт G.5 *
	Инжекция напряжения в систему заземления	Приложение G Пункт G.6 *
	Многочисленные вспышки, только для классов оружия А и D1	Приложение G Пункт G.6.3 * Форма волны, как на рис. 3 и 4 в Ref. [1]
НЕПРЯМЫЕ ЭФФЕКТЫ НА КОМПЛЕКСЫ (ОРУЖИЕ КЛАССА В)	Отсутствуют общие виды испытаний на молниестойкость для этих эффектов	
ЛИДЕРНАЯ СТАДИЯ МОЛНИИ	Испытания на диэлектрический пробой	Приложение D
ПРЯМЫЕ И НЕПРЯМЫЕ ЭФФЕКТЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВЛИЯТЬ НА ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ТОПЛИВО	См. Таблицу 508 / 4-2	См. Таблицу 508 / 4-2

Примечания: 1. Применимо для случаев близкого удара молнии.  
2. Все ссылки в таблице даны на стандарт [1].

Подход к определению требований для космической техники содержится в специализированном стандарте [5, подраздел 6.48], где указано, что требования по молниестойкости распространяются на все подсистемы и оборудование ракетного комплекса. При определении требований следует учитывать место запуска, системы молниезащиты объекта, расположение оборудования внутри или на транспортном средстве, конструкцию транспортного средства (включая обтекатель полезной нагрузки), возможные условия запуска и другие факторы. Например, все порты оборудования должны быть устойчивы к индуцированным напряжениям. Уровни могут быть адаптированы в зависимости от местоположения и интерфейсов. Например, оборудование с полезной нагрузкой внутри защитного кожуха (металлический обтекатель или другой РЧ-щит) и без внешних интерфейсов может иметь менее строгие уровни. Наиболее детально требования к параметрам прямых и не прямых эффектов молнии разработаны для самолетов гражданской авиации в стандарте RTCA/DO-160G [10]. Поэтому в [5, подраздел 6.48], устойчивость оборудования к действию индуцированных эффектов, сопровождающих молнию (не прямой удар) определяется путем подтверждения соответствия требованиям стандарта RTCA/DO-160G [10, р. 22].

Случай прямого удара регламентируется разделом 23 упомянутого стандарта [10]. Следует отметить особенности испытаний на прямой удар модельной молнии. Для новой конструкции изделия, когда нет достаточных оснований воспользоваться результатами, которые получены для подобных моделей, необходимо определить наиболее вероятные места ударов молнии. Для этого, осуществляются расчетные оценки для реального объекта и экспериментальные исследования на масштабных (уменьшенных) моделях. Критерии выбора масштабной модели находятся в стадии обсуждения. Как правило, масштабная модель выполняется из проводящего материала (металла) как у рассматриваемого изделия, геометрически подобной формы. Геометрические размеры модели определяются размерами рабочего объема экспериментальной установки. Обоснование адекватности такого подхода и величины возможных отличий результатов моделирования при переносе на реальные размеры объекта и параметры натурной молнии строго не обоснованы.

Для более точной оценки уровня наведенных токов и напряжений на гальванических линиях связи рекомендуется использовать метод моделирования процесса протекания тока молнии по обшивке ракеты. В рекомендациях [11, п.6.1.5.4] оценка данных для индуцированных переходных реакций обеспечивается путем измерения передаточных функций относительно входного гармонического тока в точке привязки на самолете. Таким образом, передаточная функция не зависит от составляющей тока молнии. Это может использоваться для определения индуцированной переходной характеристики на проводке самолета путем использования обратного Фурье-преобразования с учетом частотного спектра компонент А, D, D / 2 или Н тока молнии. Очень важно, чтобы данные брались в

достаточном числе точек по частоте, для обеспечения точной характеристики передаточной функции. Эти данные должны быть тщательно отобраны по частоте, чтобы получить передаточную функцию. Как правило, требуется меньшее число точек данных на низкой частоте (от 20 до 50 точек за декаду) где передаточная функция не меняется быстро и требует гораздо больше точек на высоких частотах (от 100 до 200 точек за декаду) в области резонансных частот. Граница между высокой и низкой частотой примерно 1 МГц. Однако, такой метод весьма трудоемкий.

В рекомендациях SAE ARP 5415 [9, п.4.6.2.2] описан метод с использованием «слабых» импульсных токов с формами компонент тока А и Н. При экспериментах используются компонента тока формы А с силой тока в пределах от 500 А до 5000 А, компонента формы Н с силой тока в несколько сотен ампер.

Формально, для объектов наземного базирования параметры молниевых разрядов регламентируются стандартом МЭК 62305-1 [12]. Указанные в этом стандарте параметры отличаются от соответствующих параметров тока молнии, регламентируемых стандартами [1-10]. Однако, это отличие не является принципиальным с точки зрения методов испытаний.

Для наземных подсистем ОБВТ необходимо обеспечить устойчивость к электрическим и магнитным полям, которые создаются близким ударом молнии. Требования к параметрам этих полей содержатся в стандартах [2, 4]. Испытания наиболее актуальны применительно к электрическим взрывателям. Методы реализации в стандартах не регламентируются, более того, указано, что каждое государство должно реализовать свой метод.

Особенности методов молниевых испытаний для полетного состояния, которые могут влиять на параметры молниевых испытаний, таковы:

- высокая скорость движения ракеты, приводящая к существенному изменению конфигурации зон привязки молнии на ее поверхности;
- наличие факела, приводящего к существенному увеличению эффективной длины объекта, что может приводить к инициированию молний.

Указанные особенности необходимо учитывать при осуществлении математического моделирования процесса растекания тока молнии по корпусу ракеты и создания наведенных напряжений и токов на гальванических связях в ракете. Требования стандартов к полетному состоянию не предъявляются. Однако, методы молниевых испытаний для полетного состояния могут быть реализованы аналогично предпусковому, с учетом особенностей формирования разряда молнии.

## Выводы

Рассмотрена структура и содержание основных стандартов НАТО по обеспечению требований электромагнитной совместимости объектов вооружения и военной техники.

Выявлены основанные логические связи между требованиями стандартов АЕСТР 500 [1] и АЕСТР 250 [2]. Представлен алгоритм реализации испытаний устойчивости объектов вооружения и военной техни-

ки к действию электромагнитных факторов, сопровождающих разряд молнии.

Исследования выполнены в рамках научно-исследовательской работы «Розробка системи випробувань типових видів озброєння та військової техніки України за стандартами НАТО з електромагнітної сумісності» (Регистрационный номер 0119U002571), финансируемой Министерством образования и науки Украины.

#### Список литературы

1. AECTP-500 NATO Standard Electromagnetic Environmental Effects Tests and Verification. Edition E Version 1, December 2016.
2. AECTP-250 NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C Version 1, December 2014.
3. MIL-STD-461G:2015 Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. 280 p.
4. MIL-STD-464C:2010 Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems. 165 p.
5. ECSS-E-ST-20-07C:2012 Space engineering. Electromagnetic compatibility. ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, the Netherlands. 2012. 91 p.
6. SMC Standard SMC-S-008 Electromagnetic compatibility requirements for space equipment and systems / Space and missile systems center Standard. Air force space command USA, 2008. 123 p.
7. SAE ARP 5412A Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms. 56 p.
8. SAE ARP 5414A Aircraft Lightning Zoning. 33 p.
9. SAE ARP 5415 User's Manual for Certification of Aircraft Electrical. Electronic Systems for the Indirect Effects of Lightning. 2002. 22 p.
10. DO-160G/ED-14G:2011 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. 2011. 438 p.

11. SAE ARP 5416 Aircraft Lightning Test Methods. 2005. 145 p.

12. IEC 62305-1:2011 Protection against lightning – Part 1: General principles.

#### References (transliterated)

1. AECTP-500 NATO Standard Electromagnetic Environmental Effects Tests and Verification. Edition E Version 1, December 2016.
2. AECTP-250 NATO Standard Electrical and Electromagnetic Environmental Conditions. Edition C Version 1, December 2014.
3. MIL-STD-461G:2015 Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. 280 p.
4. MIL-STD-464C:2010 Electromagnetic environmental effects. Requirements for systems. 165 p.
5. ECSS-E-ST-20-07C:2012 Space engineering. Electromagnetic compatibility. ECSS Secretariat ESA-ESTEC Requirements & Standards Division Noordwijk, the Netherlands. 2012. 91 p.
6. SMC Standard SMC-S-008 Electromagnetic compatibility requirements for space equipment and systems / Space and missile systems center Standard. Air force space command USA, 2008. 123 p.
7. SAE ARP 5412A Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms. 56 p.
8. SAE ARP 5414A Aircraft Lightning Zoning. 33 p.
9. SAE ARP 5415 User's Manual for Certification of Aircraft Electrical. Electronic Systems for the Indirect Effects of Lightning. 2002. 22 p.
10. DO-160G/ED-14G:2011 Environmental conditions and test procedures for airborne equipment. 2011. 438 p.
11. SAE ARP 5416 Aircraft Lightning Test Methods. 2005. 145 p.
12. IEC 62305-1:2011 Protection against lightning – Part 1: General principles.

Поступила (received) 20.04.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Князєв Володимир Володимирович (Князєв Владимир Владимирович, Kniaziev Volodymyr Volodymyrovych)** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», провідний науковий співробітник; м. Харків, Україна; ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-7119-7790>; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Кравченко Володимир Іванович (Кравченко Владимир Иванович, Kravchenko Volodymyr Ivanovych)** - доктор технічних наук, професор, Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», головний науковий співробітник; м. Харків, Україна; e-mail: tc22@i.ua.